



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH VÝROBY SKENOVACÍHO PŘÍPRAVKU

DESIGN FOR PRODUCTION OF SCANNING PRODUCT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ondrej Baran

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Ondrej Baran**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh výroby skenovacího přípravku

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bakalářská práce se bude zabývat návrhem a výrobou prototypu skenovacího přípravku, který bude sloužit při digitalizaci drobných dílů. Prototyp skenovacího přípravku bude navržen a zkonstruován ve 3D parametrickém programu Autodesk Inventor. Výroba skenovacího přípravku bude realizována pomocí aditivní metody Fused Deposition Modeling s využitím 3D tiskárny uPrint. Práce bude ukončena diskusí, která bude zohledňovat problematické kroky, ke kterým docházelo v průběhu jejího řešení.

Cíle bakalářské práce:

1. Historie (využití držáků, upínačů a svěráků ve strojírenství).
2. Charakteristika a rozbor aplikovaného materiálu, charakteristika aditivní technologie Rapid Prototyping.
3. Experimentální část (konstrukce, výroba a sestavení dílenského svěráku).
4. Diskuse výsledků.

Seznam doporučené literatury:

PÍŠKA, M. a kolektiv. Speciální technologie obrábění. CERM 1. vyd. 246 s. 2009. ISBN 978-80-2-4-4025-8.

KOCMAN, K., PROKOP, J. Technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, 2002. 270 s. ISBN 80-21-1996-2.

CHUA, C. K., LEONG, K. F., LIM, C. S. Rapid Prototyping: Principles and Applications. 3rd ed. New Jersey: World Scientific, c2010, 512 pp. ISBN 978-981-277-897-0.

JACOBSON, D. M., RENNIE, A. E. W., BOCKING C. E. In Proceedings of the 5th National Conference on Rapid Design, Prototyping, and Manufacture. Professional Engineering Publishing, 2004, pp. 112. ISBN 186-058-465-9.

VLÁČILOVÁ, H., VILÍMKOVÁ, M., HENCL, L. Základy práce v CAD systému SolidWorks. 1. vyd. Brno: Computer Press, a.s., 2006. 319 s. ISBN 80-251-1314-0.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Cieľom bakalárskej práce bol návrh, výroba a montáž prototypu skenovacieho prípravku. Každý diel prípravku bol skonštruovaný v 3D modelovacom prostredí Autodesk Inventor. K výrobe plastových častí bola použitá aditívna technológia Fused Deposition Modeling, s tlačiarňou uPrint. Súčasťou práce bolo teoretické oboznámenie sa s poznatkami z oblastí prípravkov a aditívnej technológie Rapid Prototyping. V experimentálnej časti bola postupne rozoberaná problematika konštrukcie, modelovania, výroby a montáže. Práca bola ukončená diskusiou.

Kľúčové slová

Skenovací prípravok, Rapid Prototyping, Autodesk Inventor, Fused Deposition Modeling, 3D tlačiareň

ABSTRACT

The object of the bachelor thesis was the design, manufacture and construction in progress of a prototype scanning appliance. Each part of appliance was manufactured in 3D modelling environs Autodesk Inventor. For plastic parts construction was used additive technology Fused Deposition Modeling, with a printer uPrint. A part of thesis was teoretical familiarization of knowledge from the appliances and additive technology Rapid Prototyping area. A part of experimentation was consecutive solving mechanical design, modelling, manufacturing and construction issues. The ending of the thesis was consisted of discussion.

Key words

Scanning appliance, Rapid Prototyping, Autodesk Inventor, Fused Deposition Modeling, 3D printer

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

Baran, O. *Návrh výroby skenovacího přípravku*. Brno 2017. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 34 s. Vedoucí práce doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som bakalársku prácu na tému **Návrh výroby skenovacího přípravku** vypracoval samostatne s použitím odbornej literatúry a prameňov, uvedených v zozname, ktorý tvorí prílohu tejto práce.

Dátum

Ondrej Baran

POĎAKOVANIE

Ďakujem týmto vedúcemu bakalárskej práce doc. Ing. Josefovi Sedlákov, Ph.D. za cenné pripomienky a rady pri vypracovávaní bakalárskej práce. Ďalej by som rád poďakoval pánovi Pavlovi Svobodovi za pomoc pri výrobe súčiastok.

OBSAH

ABSTRAKT	3
PREHLÁSENIE	4
POĎAKOVANIE	5
OBSAH	6
ÚVOD	7
1 HISTÓRIA A VYUŽITIE UPÍNAČOV, DRŽIAKOV A ZVERÁKOV	8
1.1 Rozdelenie prípravkov	8
1.2 Použitie prípravkov	9
1.3 Upínanie obrobkov pri jednotlivých operáciách	10
1.4 Skenovacie prípravky	11
2 RAPID PROTOTYPING	14
2.1 Oboznámenie s aditívnou technológiou Rapid Prototyping	14
2.2 Základný proces priebehu výroby	14
2.3 Fused Deposition Modeling	16
2.3.1 Proces výroby pomocou Fused Deposition Modeling	17
2.3.2 Princíp aditívnej technológie Fused Deposition Modeling	18
2.3.3 Zariadenia technológie Fused Deposition Modeling	20
3 EXPERIMENTÁLNA ČASŤ (KONŠTRUKCIA, VÝROBA A ZOSTAVA)	22
3.1 Konštrukcia plastových častí, riešenie zvyšných častí	22
3.2 Výroba a vyhľadávanie súčiastok	26
3.3 Montáž zveráku do celku	27
4 DISKUSIA	29
ZÁVER	31
ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	32
ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK	34

ÚVOD

V dnešnom automaticky fungujúcom svete, má človek podstatne jednoduchší život než ako tomu bolo v minulosti. Napriek tomu, že stroje dokážu vyrábať, obrábať, dokonca aj predávať tovar, nedokážu napr. takú jednoduchú operáciu ako je upnutie obrobku. Vtedy príde na rad človek, ktorý pre uľahčenie práce a zvýšenie bezpečnosti, vymyslel držiaky, upínače a zveráky, aby nemusel držať súčiastku v rukách a vyhol sa tým zbytočnému riziku.

Aj dnes existuje veľké množstvo materiálov a komponentov, ktoré sa navzájom kombinujú spôsobmi, ktoré by donedávna boli považované za kacírstvo. Jeden druh materiálov však za posledné desaťročia zažil obrovský príval pozornosti, jedná sa o plasty. Tento materiál polymérovej konzistencie sa začal predierať do popredia všetkých druhov priemyslov. Je možné ho nájsť v strojárenskom, potravinárskom, stavebnom, kultúrnom priemysle či dokonca aj v medicíne, kde napr. dokáže plastová protéza nahrádzať končatiny. Odpoveďou pre tak veľkú popularitu je nízka hmotnosť v porovnaní s vysokou pevnosťou a tuhosťou.

Koncom 20-teho storočia bola tiež objavená metóda výroby plastov, tzv. Rapid Prototyping, známej aj pod názvom 3D tlač. Princíp metódy spočíva v jednotlivom nanášaní vrstiev roztaveného ABS materiálu na seba. Tvar konečnej súčiastky je preddefinovaný modelom skonštruovaným v CAD systéme, ktorý preniesie tvar do *.stl súboru kompatibilného s tlačiarňou.

Táto práca je rozdelená na dve časti. Prvá časť sa zaoberá teoretickou stránkou problematiky zverákov a plastov. Druhá časť bude experimentálnym vyústením z teoretických poznatkov, a bude pozostávať z konštrukcie, výroby a montáže skenovacieho prípravku.

V závere bude diskusia, kde sa budú rozoberať problémy alebo prípadné vylepšenia.

Už odpradáva, naši predkovia používali drevené palice na rozkladanie ohňa, čo bol prvý podnet k obrábaniu vŕtaním. O mnoho rokov neskôr, boli vyrábané ručné nástroje, napr. kladivo, či sekera, aby o niekoľko storočí neskôr ľudia už používali stroje automatické. Pri žiadnej z vyššie uvedených činností, alebo moderných druhoch výroby, kde sa môže jednať o výrobu ručnú a strojnú, kusovú či sériovú sa človek nezaobíde bez prípravku. Obrobok musí byť na stroji pevne upnutý, aby nemenil svoju polohu vzhľadom ku stroju. Tak isto je potrebné klásť dôraz na správne upínanie aj pri ručnej výrobe, kde pri nesprávnom postupe môže ľahko dôjsť k ľahkému, no aj ťažšiemu zraneniu. Medzi najjednoduchšie upínacie prípravky patria ako ručné, tak aj strojné zveráky. Držať súčiastku pevne na pozícii nie je potrebné len pri výrobe, ale aj pri samotnej montáži. V niektorých prípadoch je nutné, aby prípravok viedol nástroj. Ako príklad môžu slúžiť vodiace púzdra, ktoré pri vŕtaní vedú vrták. Prípravok je teda definovaný ako pomocné zariadenie slúžiace k [1]:

- pevnému uchyteniu a jednoznačnému nastaveniu súčiastok pri jej obrábaní,
- vzájomnému pridržiavaniu pri kompletizácii zostavy,
- vedeniu nástroja.

1.1 Rozdelenie prípravkov

Prípravky podľa rozsahu použiteľnosti [2, 3]:

- a) univerzálne - k upnutiu niekoľkých druhov obrobkov rovnakého typu no rôznych veľkostí a tvaru. Môžu vyžadovať ku každému obrobku špeciálny doplnok v podobe strojného zveráku so špeciálnymi čeľusťami a i.;
- b) pre určitú skupinu obrobkov – niektorá časť alebo celý prípravok je spoločný pre celú skupinu obrobkov. Skladajú sa z trvalých a vymeniteľných častí. K trvalým patria napr.: teleso prípravku, upínací mechanizmus a pod. Vymeniteľné súčasti sú zvláštnosťou každého obrobku a vymieňajú sa pri prechode z jedného druhu obrábania na druhý;
- c) stavebnicové – pozostávajú z typizovaných dielov v určitý prípravok;
- d) jednoúčelové – sú špeciálne určené na operáciu s jedným obrobkom.

Prípravky podľa druhu operácie:

- a) doplnky k otáčajúcim strojom – ak je nutné nástroj viesť, vedenie je súčasťou prípravku;
- b) montážne – nerozoberateľné alebo rozoberateľné, napr. zvaracie prípravky;
- c) kontrolné – slúžia ako rozmerová poprípade geometrická kontrola;
- d) určené k rysovaniu obrobku;
- e) ostatné pomocné dielenské zariadenia – sem sa radia pomôcky, ktoré zlepšujú pracovné možnosti stroja.

Prípravky podľa spôsobu upínania:

- a) s ručným upínaním;
- b) s mechanickým upínaním – vzduchovým, olejovým, elektromechanickým alebo kombinovaným niekoľkých navzájom.

1.2 Použitie prípravkov

Použitie prípravkov je v praxi veľmi široké. Jednak pomáhajú zvyšovať výkon, ako aj zlepšujú kvalitu výrobku. Pri niektorých operáciách je použitie prípravkov úplne nevyhnutné. Vhodne zvolené prípravky dovoľujú pracovníkovi obsluhovať naraz niekoľko strojov, čo šetrí čas a pracovné vyťaženie pracovníka pri stroji. Použitie istého druhu prípravku závisí na druhu výroby, t. j. kusovom alebo sériovom. Pri kusovej výrobe je súčiastka obrábaná aj montovaná za pomoci bežného výrobného zariadenia, poprípade sa použijú nevyhnutné pomôcky. Pri obrábaní je potrebné porovnávať rozmery už zhotovených obrobkov s výkresovými rozmermi. Práca na univerzálnych strojoch si vyžaduje zbehlých a spoľahlivých pracovníkov, aby sa zamedzilo veľkému počtu nepodarkov. Na upínanie sa používajú normálne upínacie pomôcky, čo robí z nastavenia obrobku na stroji v správnej polohe a upnutia vec nepohodlnú, zdĺhavú a obtiažnu. Napriek všetkému je tento postup hospodárny. Čo sa sériovej výroby týka, výhodným sa stáva navrhnutie vhodného špeciálneho prípravku. Špeciálne upínacie prípravky zaručujú presné a rýchle upnutie obrobku s výrazným obmedzením chyby zo strany pracovníka, čím odstraňujú premeriavanie, čo skracuje vedľajší výrobný čas. Napriek úspore času, súčiastka nestráca na presnosti. V dnešnej dobe je výroba nastavená do trendu, kedy každý závod vyrába len určité druhy výrobkov. To umožňuje obrábať tvarovo podobné súčastí podľa jednej normalizovanej výrobnéj technológie. Pre tento spôsob výroby je možné

použiť jednotné náradie a jednotné prípravky určené jednotnej skupine súčastí podľa technologických postupov. Skupinové prípravky s malými doplnkami pre jednotlivé obrobky sú vhodné pre celú skupinu obrobkov. Zavedením uvedenej skupinovej výroby pomocou prípravkov a ideálne zvoleného zariadenia má kusová výroba zhruba rovnaké podmienky ako sériová [1, 4].

1.3 Upínanie obrobkov pri jednotlivých operáciách

Upínanie obrobku pri vŕtaní

Dôležitou podmienkou správne upnutého obrobku pri vŕtaní je zarovnanie stredu diery so stredom špičky vrtáku. Rozmerné obrobky pri vŕtaní len pridržiujeme, neupínáme ich. Malé obrobky a plechy musia byť upnuté, upínáme ich napr. v ručnej svorke, ktorú pri vŕtaní pridržiavame rukou. Pri vŕtaní priechodných dier sa obrobky podkladajú podložkami z tvrdého dreva. To zabráni vylamovaniu konca diery pri dokončovaní procesu, a taktiež ochráni stôl vŕtačky pred poškodením. Obrobky s rovnobežnými stenami sa upínajú pomocou rôznych zverákov, obrobky valcového tvaru sa upínajú vo zveráku pomocou prizmatických čelustí [1, 5].

Upínanie obrobku pri frézovaní

Pri frézovaní sa upínacie prípravky delia do troch podkategórií a to na mechanické, pneumatické a hydraulické. Mechanický rýchlopínač je určený pre sériovú výrobu a výrobu, kde sa nedosahujú veľmi veľké rezné sily. Pneumatické upínače sú veľmi užívateľsky priaznivé svojou ľahkou obsluhou a veľkou upínacou silou. K zachovaniu rozmerov pneumatických prípravkov je často využívaná kombinácia s prípravkami mechanickými, ako sú napr. pákové upínače, upínacie klíny a pod. Najsilnejšie upnutie sa dá doceliť pomocou tlakovej kvapaliny u hydraulických prípravkov. Tlakový olej obvykle môže dosahovať tlak až 10 MPa. Aj vďaka tomu sú hydraulické valce rozmerovo menšie. K nevýhodám hydraulických upínačov sa radí drahšia výroba a prevádzka, ktorá vyžaduje hydrogenerátor a olejový rozvod [1, 4, 6].

Upínanie obrobku pri sústružení.

Aj upínanie súčiastok pri sústružení sa dá rozdeliť do troch podkategórií, a to na upínanie hrotmi, pevnými tŕňmi a rozpínacími tŕňmi. Medzi hroty sa upínajú predovšetkým súčiastky tyčového tvaru. Obrobok je upnutý medzi hrotom vretena a hrotom na strane koníka. Otáčanie majú na starosti srdce a unášač. Jedná sa o veľmi rýchly spôsob upínania, naviac takto upnuté súčiastky sú presne súosé.

Nevýhodou môže byť fakt, že súčiastka sa nedá obrobiť na jednu operáciu po celej dĺžke materiálu, pokiaľ je upnutá v sklúčovadle. Naopak, ak je súčiastka upnutá medzi hrotmi, nie je problém obrobiť ju po celej dĺžke. Upínať obrobok trňmi sa dá na niekoľko spôsobov [4, 7]:

- trne rozpínané skrutkou, guľčkou a kužeľovým kolíkom,
- letmé rozpínacie trne rozpínané kužeľovým trňom,
- rozpínacie trne upnuté medzi hrotmi,
- rozpínacie stupňovité puzdrá,
- pevné trne pre obrábanie v hrotoch,
- letmé trne a závitové trne pre upínanie obrobkov.

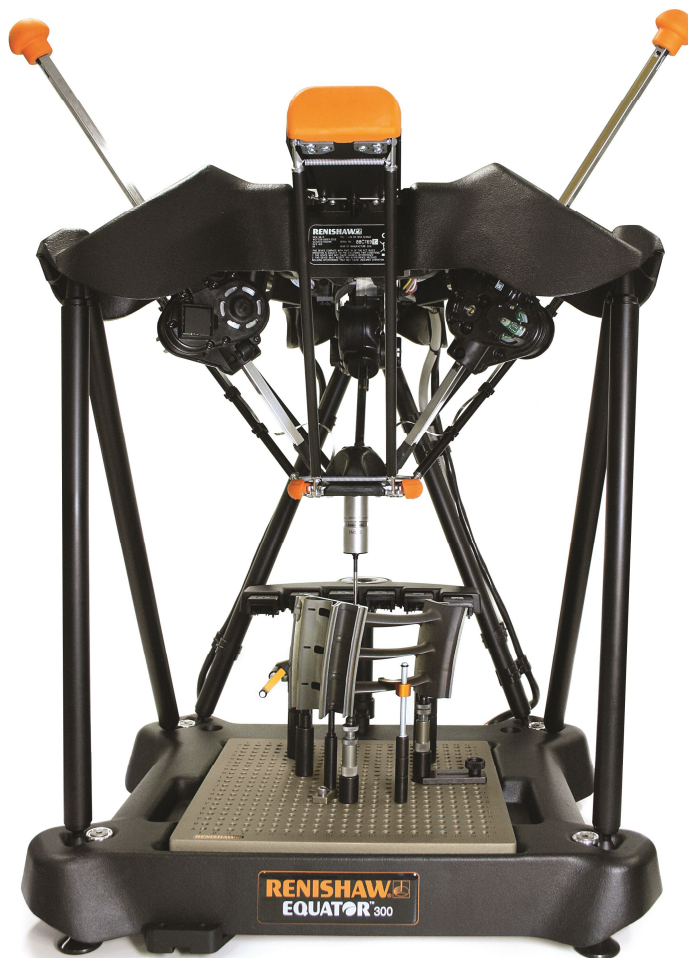
1.4 Skenovacie prípravky

V tejto kapitole sa dostávame ku téme skenovania. Skenovací prípravok v skratke znamená každú časť stavebnice, upínača, držiaku alebo zveráka, ktorá pomáha udržať skenovanú súčiastku v pevnej pozícii na skenovanie. V tejto podkapitole si priblížime niekoľko druhov prípravkov.

Upínacie prípravky Equator

Upínacie prípravky firmy Renishaw, vyvinuté pre skenovací systém Equator (viď obr. 1.1), obsahujú špeciálne upínacie dosky s 3-bodovým kinematickým systémom pre rýchlu montáž a demontáž zo stroja. Spoľahlivý spoj medzi doskou a strojom je zárukou bezpečnosti pri opakovanom umiestňovaní prípravku, aj vďaka tomu je možná rýchla výmena dielov.

Otvory v upínacích doskách sú označené, aby bolo jednoduchšie zdokumentovať súradnice jednotlivých prvkov. Vďaka bodom, ktoré obsahuje konštrukcia, je možné zhmotniť objem okolo skenovanej súčiastky. Všetky časti sú konštruované na ručné doťahovanie. Doťahujú sa tenké ihlice, s vyostrenými hrotmi, tak aby upnutá súčasť mala čo najväčší nezakrytý povrch [8].



Obr. 1.1 Upínací přípravok EQUATOR [9].

Zveráky, upínače a držiaky.

Pojem zverák pokrýva širokú škálu prípravkov, a je rozdelený na niekoľko druhov v závislosti na veľkosti, rozmere a tvare upínanej súčiastky a mnoho ďalších. Základný je pevný zverák (viď obr. 1.2), ktorý má pohyblivú čelúšť posuvnú po telese len v jednom smere, a to čelúšti. Môže byť ovládaný manuálne, aj automaticky, no vzhľadom k jednoduchosti a ľahkosti používania sa volí väčšinou ovládanie manuálne. Ďalej existuje zverák otočný, ktorý sa od pevného odlišuje spodnou kruhovou doskou, obsahujúcou stupňovité delenie, ktoré umožňuje zveráku otáčať sa okolo svojej osi. Samostrediaci zverák svojou konštrukciou umožňuje upnúť kratšie valcové súčiastky. Uskutoční sa tak pomocou prizmatického vybrania, na ktoré sa pritlačia čeluste zveráku. Nakoniec existujú zveráky špeciálne, otočné, sklopné. Pohybu zverákov sa dá ľahko zamedziť priskrutkovaním k pracovnému stolu skeneru [10].



Obr. 1.2 Pevný zverák [11].

2 RAPID PROTOTYPING

2.1 Oboznámenie s aditívnou technológiou Rapid Prototyping

K tomu, aby sme mohli pracovať s termínom „Rapid Prototyping“ (RP), je potrebné ho najskôr správne definovať. Jedná sa o aditívnu technológiu, ktorá slúži na technologické vyhotovenie skúšobných, popřípadе predvádzacích modelov vytvorených v modelovacom prostredí CAD systémov (Inventor, SolidWorks, ...) v extrémne krátkom čase, a bez použitia obrábacích strojov. Pôvodne sa technológia nazývala „3D Printing“ a stále je dosť frekventovane pomenovaná týmto názvom. Termín aditívne technológie pokrýva imaginárnu cestu pridávania materiálu za vzniku 3-dimenzionalnej fyzickej súčiastky. Technická realizácia je založená na jednotlivých vrstvách, vďaka čomu je tiež označovaná ako „Layer-Based Technology“. V prípade systému RP sa jedná o bezodpadový systém, resp. s minimom odpadu, čo ho zvyhodňuje oproti už zaužívaným konvenčným systémom [12].

2.2 Základný proces priebehu výroby

Každá technológia RP začína spoločným základným procesom priebehu výroby. Na začiatku je myšlienka, ktorá sa prenáša skrz 3D „Computer-Aided-Design-Computer-Aided-Manufacturing (CAD-CAM)“ systém a vytvára tak funkčný CAD model. Tento model musí byť reprezentovaný ako uzavretá plocha, obklopujúca uzavretý, definovaný objem. Následne je model vyhotovený v ľubovoľnom CAD systéme vyexportovaný vo formáte príslušnom na komunikáciu medzi softvérom a 3D tlačiarňou. Jedným z možných formátov je „*.STL“ (Stereolithography) súbor, ktorý je v aplikačnom programe spracovaný, rozdelený na vrstvy, podľa ktorých bude navedený nástroj po určitých dráhach nanášať materiál, po prenesení dát do produkčného systému nastáva výroba. STL formát aproximuje jednotné povrchy do tvarov rôznych mnohouholníkov, z ktorých najjednoduchší je trojuholník. Komplikované súčasti s mnohými zaobleniami musia zahŕňať veľa mnohouholníkov, čo navyšuje veľkosť daného súboru. Po ukončení výroby môže nasledovať technologické dokončenie na úpravu povrchu, v prípade, že to nie je nutné je súčiastka hotová na ďalšie využitie [13, 14, 15].

Mnoho ľudí si myslí, že každá z metód RP, je spojená s určitou aplikáciou v zmysle použitia jednej metódy na malý výber aplikácií, zatiaľ čo iná metóda je vhodná pre iné aplikácie. Tento názor podnietil ľudí študovať všetky rozličné metódy,

o ktoré sa neskôr starali a skúmali ich. V praxi, výber vhodnej metódy RP na použitie, začína s individuálnou aplikáciou. Potom, špeciálne požiadavky ako napr. rozmery danej súčasti, kvalita povrchu, maximálne zaťaženie, teplota, atď., vedú k výberu správneho materiálu a následne k tlačiarňi schopnej vykonať všetky potrebné úkony. V skutočnosti môžu byť rôzne RP metódy použité na riešenie jedného identického problému. Ďalej je dôležité poznať rozdiel medzi termínmi „technológia“ a „aplikácia“. Technológia je definovaná, ako veda zaoberajúca sa technickými procesmi a popisom vedeckých prístupov. Aplikácia využíva poznatky technológií v praxi, takým spôsobom, aby z toho mohla profitovať, čo je tiež nazývané ako praktický prístup. Na ucelenie prehľadu sa aplikácia delí na dve úrovne, „Rapid Prototyping“ a „Rapid Manufacturing“(RM). RP popisuje všetky aplikácie ktoré vedú k prototypom, modelom, vzorkám alebo maketám, zatiaľ čo RM sa používa, keď finálne súčasti alebo všetky produkty sú vyrábané a ďalej využívané v praxi [14, 15].

Technológie RP sa delia podľa rôznych kritérií, no asi najzákladnejšie je delenie podľa typu použitého materiálu. Ide o tri typy rozdelené podľa konzistencie a to na báze pevných materiálov, na báze práškových materiálov a na báze tekutých materiálov [13, 15].

Systémy RP na báze pevných materiálov

Patria tu všetky pevné materiály s výnimkou materiálov vo forme prášku. Materiály vstupujú do výroby ako drôty navinuté na cievkach, materiály vo forme peliet, materiály navinuté na roľkách, materiály vo forme listov atď. Zahrňuje to tieto systémy [14]:

- FDM – Fused Deposition Modeling – modelovanie tavným nanášením,
- LOM – Laminated Object Manufacturing – výroba laminovaním,
- PLT – Paper Lamination Technology – laminovanie použitím papiera.

Systémy RP na báze práškových materiálov

Práškové materiály sa od iných pevných materiálov líšia tým, že ide o materiály práškoveho charakteru. Sem patria nasledujúce systémy [14]:

- SLS – Selective Laser Sintering,
- DMLS – Direct Metal Laser Sintering,
- EBM – Electron Beam Melting,
- LENS – Laser Engineered Net Shaping,
- MJS – Multiphase Jet Solidification,

-
- 3DP – Three-Dimensional Printing.

Systémy RP na báze tekutých materiálov

V počiatočnej fáze sa jedná o tekuté materiály, ktoré sú v procese vytvárania modelu vytvrdzované a tým vzniká tuhé teleso. Sem patria tieto systémy [15]:

- SLA – Stereolithography,
- SCS – Solid Creation System,
- SGC – Solid Ground Curing,
- MJM – Multi-Jet Modeling,
- BPM – Ballistic Particle Manufacturing.

Nie všetky uvedené systémy sú samostatné a odlišné od ostatných, nachádzajú sa tu aj systémy, ktoré sú odvodené od základných princípov tým, že využívajú jeden spôsob tvorby modelu len s nejakou obmenou. Napr. v systémoch na báze pevných materiálov je možno uviesť technológiu PLT, ktorá využíva rovnaký princíp ako LOM, akurát s obmenou materiálu. Ďalej spomenutá DMLS je v princípe rovnaká ako SLS, odlišuje sa však výrobou modelov iba z kovových materiálov, kde SLS zahrňuje väčšie portfólio materiálov polymérov, ale aj vrátane kovov. V systémoch na báze tekutých materiálov sa jedná o technológiu SLA, ktorá sa považuje za základnú a ostatné technológie sú iba jej modifikáciou [12,14].

2.3 Fused Deposition Modeling

Technológia, ktorá bola vyvinutá Scottom Crampom v roku 1988, následne v roku 1992 firma Stratatys uviedla na trh prvý RP stroj. Dnes sa nachádza v najvyšších priečkach v obľúbenosti a používania po celom svete, všetko vďaka faktu, že sa jedná o najjednoduchšiu technológiu, pri ktorej nie sú potrebné žiadne špeciálne systémy a výrobné náklady sú relatívne nízke. Využíva pomerne jednoduchý systém, ktorý je založený na extrudovaní nataveného materiálu cez vyhrievanú trysku. Materiál je väčšinou termoplast [14, 16].

V systéme sú prevažne dva druhy materiálov. Jeden sa nazýva modelovací a slúži na vytváranie samotného telesa modelu, zatiaľ čo druhý sa nazýva podporný a jeho funkciou je vytváranie podpory pri nanášaní modelovacieho materiálu, predovšetkým teda pri tvorbe previsnutých častí modelu. Používa sa taktiež pri začiatku modelovania, kde slúži ako podložka. Vytvára adhéznú vrstvu, ktorá pri chladnutí

zabraňuje deformácii, resp. skrúteniu modelu. V prípade vysokých modelov navyše zaisťuje stabilitu pri prípadnom kontakte s dýzou [13, 14, 16].

Podporný materiál môže mať rôznu štruktúru v závislosti od jeho funkcie [14, 16]:

- Základný – základná štruktúra, plní len podpornú funkciu (viď obr. 2.1).
- Obklopujúci – vytvára podpornú štruktúru a navyše obklopuje celý model. Odporúča sa predovšetkým pre jemné štruktúry, pri ktorých by mohlo dôjsť veľmi ľahko k poškodeniu pri náhodnom kontakte modelu s pracovnou hlavicou.
- Štruktúrovaný – typ podpory s menšou hustotou, spotrebuje sa menšie množstvo podporného materiálu a urýchľuje sa tým aj čas vytvorenia modelu.
- Odlamujúci – určený predovšetkým na uľahčenie odstraňovania z modelu.

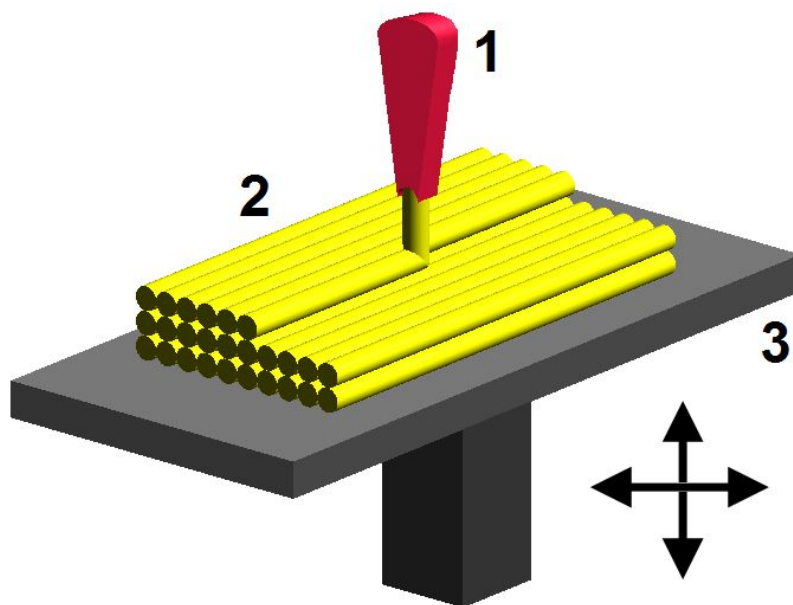


Obr. 2.1 Podporný/základný materiál s tmavo hnedou farbou, modelovací materiál s farbou bielou.

2.3.1 Proces výroby pomocou Fused Deposition Modeling

Pomocou vyššie zmieneného CAD softvéru je CAD súbor rozdelený do horizontálnych vrstiev potom, ako je súčasť orientovaná na optimálnu stavebnú pozíciu a všetky nevyhnutné podporné štruktúry sú automaticky detekované a generované. Hrúbka vrstvy môže byť manuálne nastavená v rozmedzí 0,178 mm až 0,356 mm závisiac na potrebách modelu. Modelovací ako aj podporný materiál je vo forme vlákna navinutý na cievkach. Vlákno je vedené pomocou podávacieho

mechanizmu k pracovnej hlavici, kde je zahriate na pracovnú teplotu, pri ktorej je materiál v stave polotekutom. Tento materiál je extrudovaný cez pracovnú hlavicu a ukladáný v tenkých vrstvách z FDM hlavice, jednu vrstvu po druhej (viď obr. 2.2). Za pohybu v rovine X-Y, hlavica nasleduje cestu generovanú z Insight™, v produkcii vyžadovanej vrstvy. Keď je vrstva hotová, pracovná hlavica sa posunie o jednu vrstvu smerom nahor. Dve vlákna materiálov sú rozdeľované cez mechanizmus v FDM zariadení [12, 16].



Obr. 2.2 Extrudovanie materiálu cez hlavicu [17].

2.3.2 Princíp aditívnej technológie Fused Deposition Modeling

Princíp FDM je založený na povrchovej chémii, tepelnej energii a technológii nanášania vrstiev. Materiál je tavený v špeciálnej hlavici, ktorá ho pretláča skrz trysku. Postupne ako chladne, tuhne do formy modelu. Parametre, ovplyvňujúce výkonnosť a funkčnosť systému sú: stĺpcová sila materiálu, modul materiálu, materiálová viskozita, pozičná presnosť, rýchlosť nanášania, teplota obálky a geometria súčasti [12, 14].

Výhody používania FDM [12, 14, 16]:

- Výroba funkčných modelov – pri využití systému FDM, výroba súčastí pozostáva z jednej operácie a to z „tlačenia“ modelu, zatiaľ čo pri konvenčných metódach výroby, je potrebné niekoľko po sebe nasledujúcich operácií. Taktiež je možno vyrobiť plne funkčne súčiastky z materiálov, ktoré sú podobné tým, z ktorých by boli lisované plastové diely. Modely vytvorené

z ABS plastu majú až 85 % pevnosti súčiastok, ktoré mohli byť vyrobené klasickou technológiou, lisovaním plastových dielov. Výhoda, ktorá na seba poukazuje najmä pri vývoji nových súčiastok, ktoré často menia geometriu ako aj tvar, to znamená rýchle vytvorenie niekoľkých modelov na urýchlenie vývoja.

- Minimálny odpad – FDM proces buduje presné súčiastky, čím cez dýzu extruduje požadovaný objem materiálu bez strát. Podporný materiál je nerecyklovateľný, tým pádom po ukončení výroby modelu sa odlamuje poprípade rozpúšťa v kúpeli. V tomto prípade sa jedná o odpad. Ten je tvorený iba podporným materiálom, ktorý sa v ďalšom procese nedá využiť, napriek tomu je používané iba potrebné množstvo.
- Ľahké odstránenie podpornej štruktúry – každá podporná štruktúra sa dá jednoducho odstrániť odlomením, ak je dobre prístupná. V prípade, že podporný materiál obklopuje tenké štruktúry, alebo sa nachádza v uzavorených miestach, je vhodnejšie odstrániť ho v kúpeli, kde sa rozpustí bez prípadného poškodenia tenkých štruktúr pri násilnom odstraňovaní.
- Ľahká výmena materiálu – keďže sa materiál vo forme plastového drôtu nachádza na cievkach alebo v uzavorených kazetách, je jeho výmena obzvlášť jednoduchá. Riadiaci softvér upozorní na malé množstvo materiálu v zásobníku a taktiež naviguje pri jeho výmene.
- Veľký použiteľný objem – FDM tlačiarne, špecificky FDM 900mc a Maxum, ponúkajú väčší modelovací objem, než väčšina ostatných dostupných RP systémov.

Nevýhody používania FDM [12, 14, 16]:

- Obmedzená presnosť – presnosť vytvorených modelov je obmedzená povahou FDM technológie a druhu použitého materiálu. Použité dýzy majú pevný priemer 1,27 mm a týmto určujú presnosť, ktorú môže súčiastka dosiahnuť.
- Pomalý proces modelovania – z dôvodu výstavby modelu po vrstvách a tým, že je nevyhnutné v každej vrstve vyplniť celý povrch materiálom, sa tento proces stáva veľmi pomalý. Rýchlosť výstavby modelu je limitovaná

rýchlosťou extrudovania materiálu. Pretože viskozita materiálu je pomerne vysoká, nie je jednoduché tento proces nejako urýchliť.

- Zmršťovanie modelu – v procese sa stavebný materiál extruduje v plastickej forme a má vyššiu teplotu. Po opustení dýzy materiál veľmi rýchlo chladne, čím je spôsobené hromadenie napätia vo vytvorenom modeli. Prejavom tohto nežiadaneho javu je zmršťovanie poprípade skrútenie modelu, a tým, že je prakticky nepredvídateľný, je nemožné mu zabrániť. Ak je predpoklad, že dôjde k deformácií, odporúča sa nechať súčiastku vychladnúť na podložke [12, 13, 14, 16].

2.3.3 Zariadenia technológie Fused Deposition Modeling

Z dôvodu uvoľnenia patentov, sa technológia FDM rozšírila po celom svete. Nájdeme mnoho rôznych výrobcov, od menej kvalitných po najkvalitnejšie zariadenia, avšak firma Stratasys začala výrobu najskôr, ktorá je zároveň aj vlastníkom patentu. Zariadenia sú situované vo veľkej škále rozmanitosti, od malých stolných zariadení (Mojo), cez objemnejšie zariadenia ako napr. uPrint, až po veľké produkčné systémy Fortus [13, 14, 16]:

- Mojo – najmenšie zo zariadení od firmy Stratasys. Ako podporný materiál pre previslé polohy je používaný RS-30, ktorý je rozpustný vo vodnom kúpeli. Maximálna veľkosť modelu z prostredia Mojo je 127 mm x 127 mm x 127 mm.
- uPrint SE Plus – poskytuje taktiež tlač z modelovacieho ABS materiálu, v ktorom na rozdiel od prvého zariadenia je možno využiť dve nastavenia hrúbky materiálu. Maximálna veľkosť modelu je 203 mm x 203 mm x 152 mm (vid' obr. 2.3).
- Fortus 900mc – jedno z najväčších a zároveň najpresnejších zariadení z portfólia firmy Stratasys. Presnosť vyrábaných dielov je $\pm 0,09$ mm. Maximálna veľkosť modelu je 914 mm x 610 mm x 914 mm.



Obr. 2.3 3D tlačiareň uPrint na Ústave Strojníckych Technológií.

3 EXPERIMENTÁLNA ČASŤ (KONŠTRUKCIA, VÝROBA A ZOSTAVA)

V tejto kapitole bude podrobne rozobraná konštrukcia, výroba a zostava zveráku, s náležiacou obrázkovou dokumentáciou.

3.1 Konštrukcia plastových častí, riešenie zvyšných častí

Pri návrhu skenovacieho prípravku, bolo potrebné zohľadniť niekoľko potrebných faktorov, ktoré mali vplyv na tvar, funkciu, materiál a v neposlednom rade spôsob používania. V prvom rade bolo potrebné vybrať smer, ktorý bude celý tento projekt smerovať, to znamená, ktorý z mnohých druhov prípravkov bude zvolený za ten správny. Výber veľmi uľahčila okolnosť, že skener už niekoľko upínacích prípravkov používal, konkrétne to bola stavebnica podobnej konštrukcie a funkcie, ako upínací prípravok Equator. Jednalo sa teda o prípravok, ktorý skenovanú súčasť upol medzi „ihly“, ktoré umožňovali zoskenovať takmer celú súčiastku, a pritom ju nepoškodili. To zúžilo výber na niektorý z druhov zverákov. Prišla na rad praktickosť, ekonomickosť a v istom zmysle jednoduchosť pri návrhu a výrobe požadovaného zveráku. Všetky tieto podmienky viedli ku zvoleniu pevného zveráku s protichodnými čeľusťami, vyrobeného kombináciou z plastu a kovu.

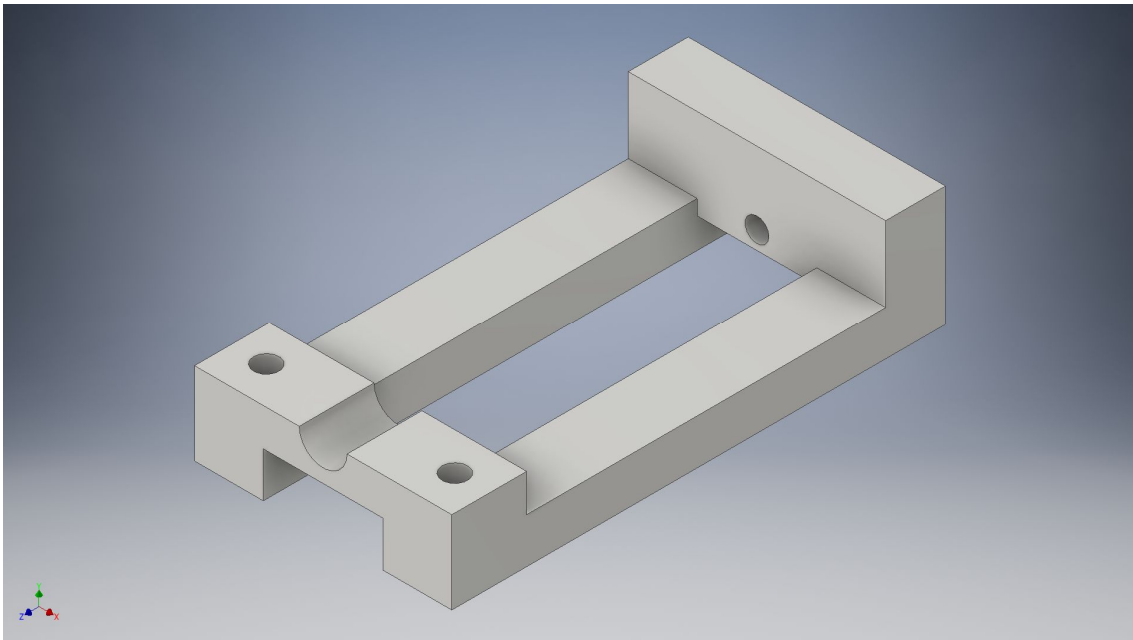
Prvotné návrhy

Keďže táto práca je smerovaná k novým technológiám, ktorou FDM určite je, bolo potrebné navrhnuť zverák tak, aby čo najväčšia časť zveráku bola vyrobená práve touto cestou. Bolo by veľmi ťažké vyrobiť celý zverák z plastu, keďže niektoré vlastnosti kovu sa nahradiť nedajú, napriek tomu, všade, kde to bolo možné, je použitý práve tento netypický materiál. Keďže na zverák nepôsobia príliš veľké sily v žiadnom smere, tak celá kostra pozostávala z plastovej konštrukcie. Závitová tyč spolu s uložením pre závitovú tyč, boli vyrobené z ocele, práve kvôli veľkému adhéznemu opotrebeniu plastov. Z rovnakého dôvodu boli navrhnuté aj plechové doštičky medzi kôstrou a čeľusťami.

CAD model a riešenia problémov

Najskôr bolo potrebné navrhnuť kôstru, a hrubý náčrt celého zveráku. Kostra bola navrhnutá v hranatom štýle, keďže s oblúkmi a zaobleniami má 3D tlačiareň mierne problémy, a nedokáže ich vyrobiť s dostatočnou presnosťou (viď obr. 3.1). Každá kostra bola postavená na dvoch podporných „nohách“ s dierou uprostred,

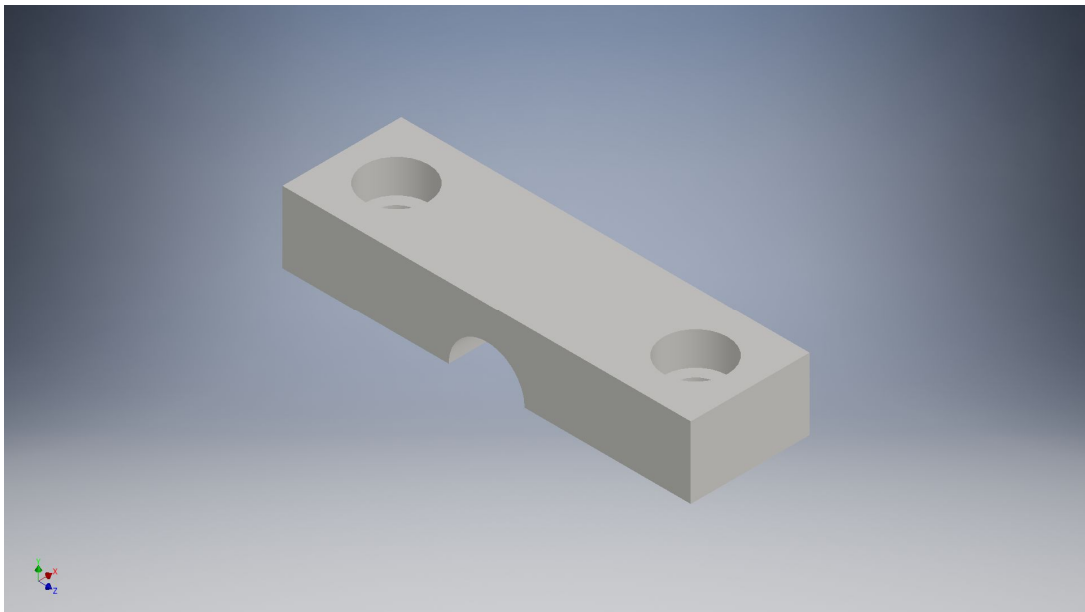
ktorá slúži na vedenie čelusti po zveráku. Ďalej sa vyberalo z troch rôznych návrhov kostry. Prvý bol návrh kostry spojenej s čelustou a s oddeľovacím vrchom kostry pre zapadnutie uloženia závitú. Spoj vrchnej a spodnej časti kostry bol zaobstaraný pomocou dvoch skrutiek z oboch strán uloženia, skrutky boli na spodnej strane kostry prichytené podložkami a maticami (viď obr. 3.2). Druhý návrh tiež pozostával z vytvorenia jedného celku z čelusti a kostry, no uloženie bolo priamo vyrobené v kostre z plastu, a závitová tyč sa do neho akurát naskrutkovala. Tretí návrh bol rozložený na osobitnú kostru, ktorá sa skladala z dvoch častí pri uložení závitovej tyče, tak isto ako v prvom návrhu. Rozdiel bol v tom, že v poslednom návrhu bola čelusť osobitne, a spájala sa s kostrou skrutkovým spojom. To malo za pozitívny účinok fakt, že čelusť bola vymeniteľná, čo neskôr bola veľká výhoda, keďže skenujú sa súčasti takmer všetkých tvarov a rozmerov.



Obr. 3.1 Kostra zveráku.

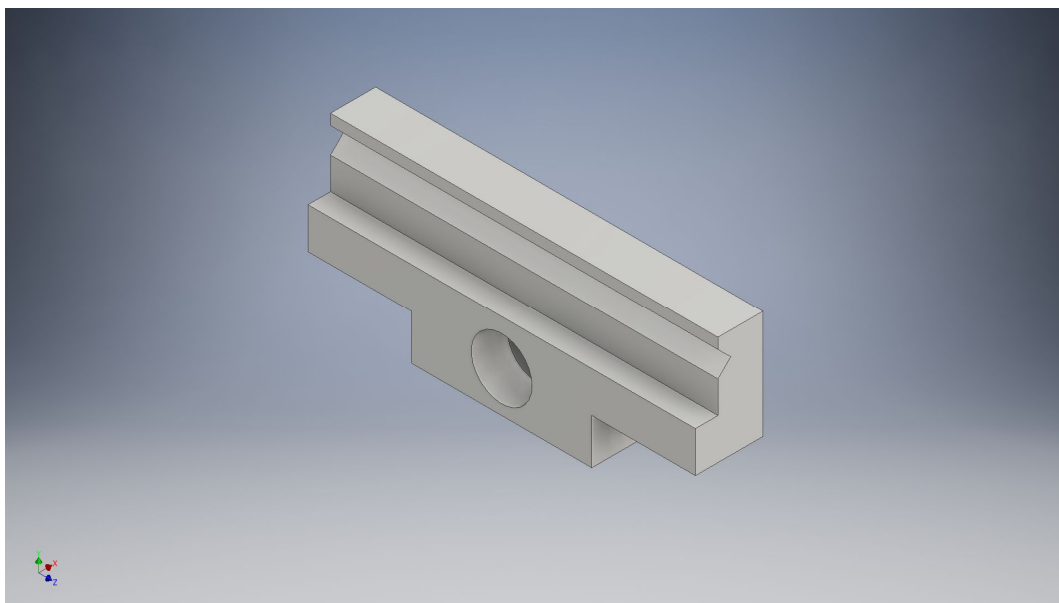
Po prehodnotení návrhov, prvý mal celkom jednoducho vyriešené zloženie závitovej tyče a kostry, no trpela univerzálnosť v oblasti čeluste. Druhý návrh mal taktiež spojenú čelusť a naviac by dochádzalo k treniu medzi ocelovou závitovou tyčou, a nie veľmi presne vyrobeným závitovým uložením z plastu, čo by zapríčinilo väčšiu rozmerovú odchýlku pri 3D tlači, čo bolo rozoberané v teoretickej časti. Tretí návrh pozostával z dobre vyriešeného systému rozdelenej kostry spojennej skrutkami a oddelenej čeluste (viď obr. 3.3), čím sa stal tento zverák svojím spôsobom v obmedzených rozmeroch univerzálny. Z toho dôvodu padla voľba na návrh číslo tri

a pokračovalo sa v konštruovaní. 3D tlač je voľbou aj kvôli zníženiu hmotnosti, hustota materiálu použitého pri tlači je zhruba $2000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, v závislosti od použitého materiálu. Už aj to je voči oceli skoro 4-násobný pokles hustoty, no ako je známe, materiál potrebný pri prevádzke 3D tlače je drahší, ako cena ocele, a tak nasledovalo ešte niekoľko odľahčení. V strede bol nosný materiál vynechaný úplne a uvoľnil tak maximálny priestor pre vedenie čeluste. Ďalším krokom bolo odľahčenie spodnej časti kostry bez toho, aby výrazne utrpela pevnosť poprípadne tuhosť kostry. To znamená, že boli vytvorené drážky pozdĺž takmer celej spodnej konštrukcie v hĺbke 5 mm s odstupom 4 mm od boku kostry. Týmto odľahčením sa ušetrilo $10\,125 \text{ mm}^3$ materiálu, a to skoro bez ujmy na tuhosti konštrukcie. Do týchto drážok môžu byť časom vložené oceľové vložky na vyvázenie rovnováhy. Ďalším prvkom v kostre boli diery, dve na uchytienie vrchného veka, ktoré slúžilo na prichytenie uloženia závitovej tyče a jedna diera, ktorá slúžila na prichytenie čeluste ku kostre. Konkrétne použitie a tvarovanie dier, bude rozoberané pri montáži.

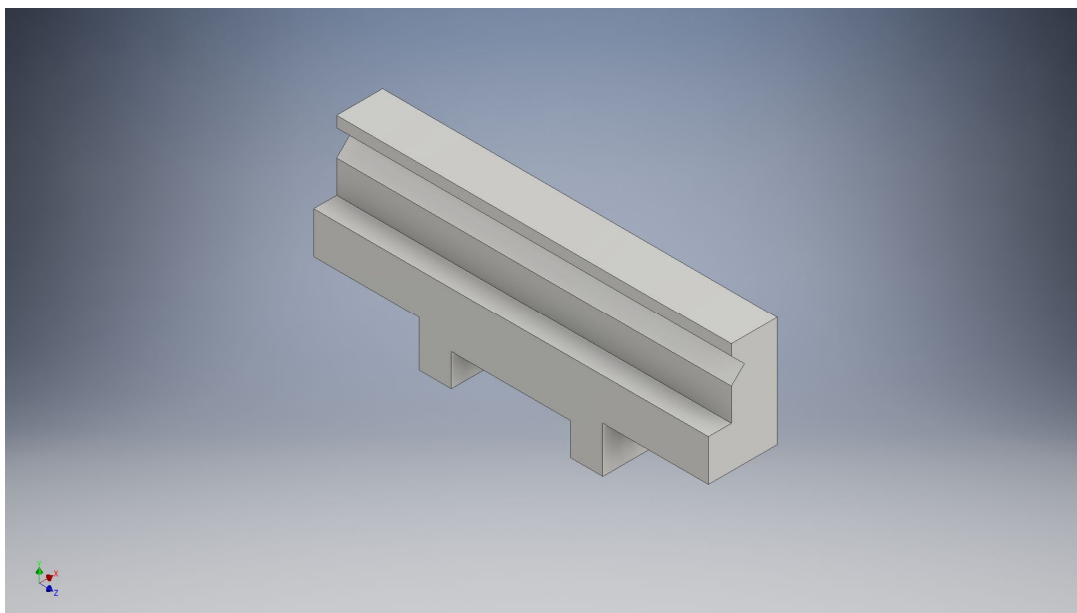


Obr. 3.2 Vrchná časť kostry.

Pokračovanie konštruovania zahŕňalo čelusť, ktorá by prisúvala súčiastku a zvierala ju s druhou čelusťou (viď obr. 3.4). Ako prvé vzorové čeluste boli zvolené čeluste s malou podpornou platformou pre stredné a malé súčiastky, ktoré budú veľkým percentom upínaných súčastí. Taktiež je možné upnúť ďalšie menšie prípravky, ktoré môžu zlepšiť, poprípadne skvalitniť obraz skenovanej súčasti. Ďalšou úpravou čelustí boli malé vybrania trojuholníkových tvarov pozdĺž celej šírky, schopné zovrieť súčiastky valcových tvarov, ako sú napr. malé hriadele, či ložiská.



Obr. 3.3 Čeľusť montovaná s kostrou.



Obr. 3.4 Pritlačacia čeľusť.

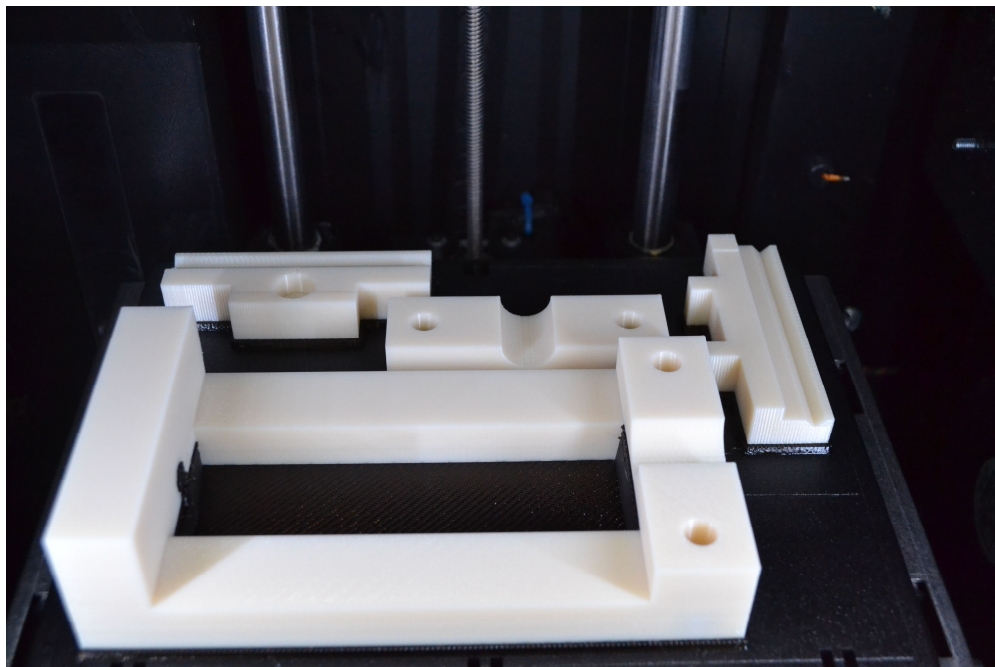
Konštrukcia zveráku pokračovala závitovou časťou spolu s uložením, ktorá, keďže bola vyrobená z ocele, tvorila väčšinu hmotnosti zveráka, a tak bolo potrebné využiť každý jej centimeter s cieľom optimalizovať ťažisko. Dĺžka závitú bola presne navrhnutá do maximálneho zaskrutkovania. Požiadavky na materiál neboli vysoké, keďže prípadné zníženie váhy rôznymi zliatinami by malo za následok enormné zvýšenie nákladov. Ako materiál bola zvolená oceľ 11 500.

Posledná vec v konštrukčnej časti bola zároveň najťažšia. Problémom bolo vyriešiť spôsob, akým by závitová tyč odťahovala čeľusť od zovretia. Návrhov bolo hneď niekoľko, ale nie každý bol vhodný a ľahko výrobitelný. Bežné konvenčné

spôsobu neboli voľbou, keďže v tomto prípade šlo o spoj plastu a kovu. Prvý návrh spočíval v guľičke, ktorá by bola vtlačená do plastu, ale naskytli sa tu hneď dva problémy. Prvým bola možnosť porušenia štruktúry plastu, a druhým takmer nemožná demontáž a výmena čeľuste. Ďalším návrhom bola gumička, ktorá ale nebola veľmi spoľahlivá. Konečným riešením, bol plech, ktorý bol istým spôsobom pripevnený k čeľusti, a ohnutý do C-tvaru aby závitová tyč, pri spätnom pohybe čeľuť odťahovala cez plech preč, a naopak, pri sťahovacom pohybe by pritláčala plech, a tým zovierala čeľuste.

3.2 Výroba a vyhľadávanie súčiastok

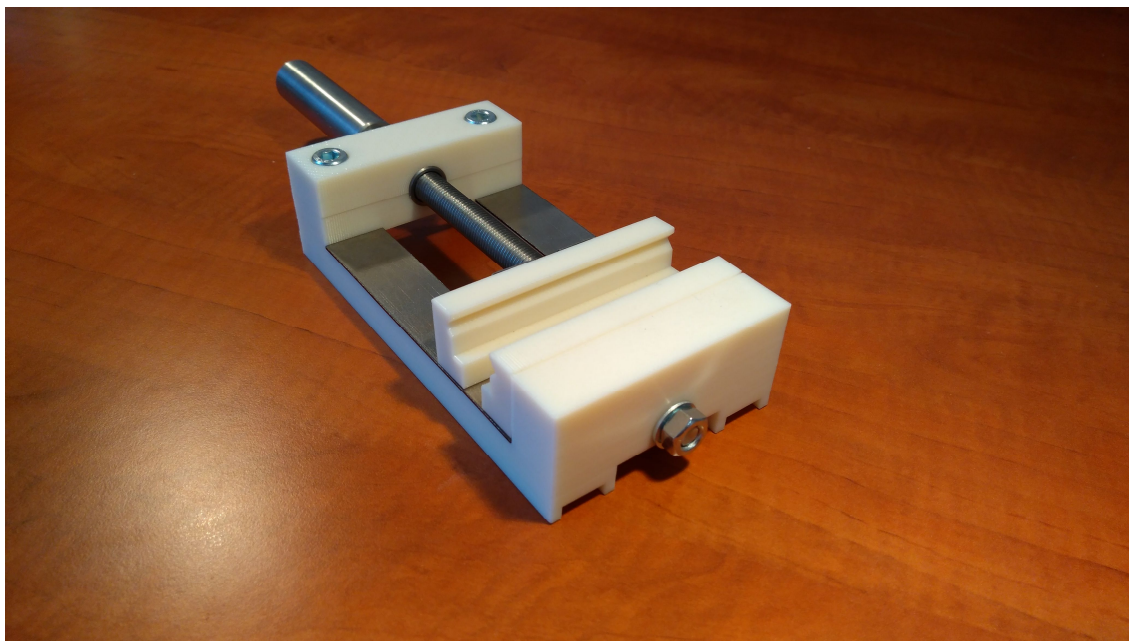
Výroba zveráku pozostávala z niekoľkých častí. 3D tlač plastových súčastí prebiehala už zmieňovanou metódou FDM, na tlačiarni uPrint. Výroba trvala necelých 10 hodín. Tlač sa nakoniec podarila bez problémov a súčiastky boli pripravené na skladanie (vid' obr. 3.5). Ďalej bolo potrebné zohnať hutný materiál, z ktorého bola vyrobená závitová tyč spolu s uložením. Sústruženie prebiehalo v dielňach ústavu strojárnských technológií. Taktiež sa zháňali plechy hrúbky 1 mm pod čeľuste, teda na obe vodiace plochy, aby bol pohyb čeľuste čo najhladší, spolu s plechom, ktorý bol použitý na odťahovanie čeľuste. Ten bolo potrebné dodatočne poohýbať v dielňach ústavu strojárnských technológií. Plech sa ohol s polomerom ohybu 1 mm na každej strane.



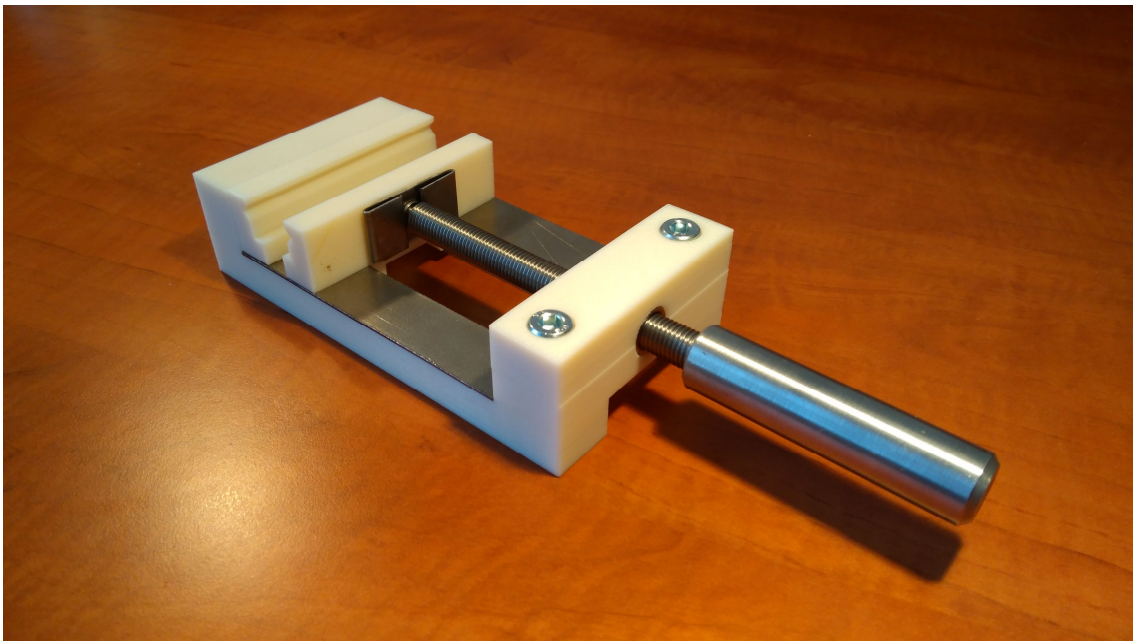
Obr. 3.5 Konečný produkt tlače.

3.3 Montáž zveráku do celku

Konečná fáza pred úplne funkčným a použiteľným zverákom začala montážou čeluste. Tá bola pripevnená skrutkovým spojom, pomocou imbusových skrutiek, ktoré boli zvolené hlavne vďaka estetickému hľadisku, kde sa najviac vynímali a zapadli do koncepcie, bez vytŕčania. Imbusové skrutky boli použité aj pri zostavovaní uloženia závitovej tyče. Od začiatku sa počítalo s tým, že bude nutné skrutkou zabezpečiť maticou, a tak boli diery v spodnej časti kostry zväčšené, na priemer potrebný pre vloženie kľúča. Akonáhle boli zmontované všetky súčiastky, ostával už len jeden problém, a to ako pripevniť ohnutý plech k čelusti tak, aby držal. Na výber boli mnohé možnosti, z nespočetnej rady lepidiel a lepiacich prípravkov, ktoré by zabezpečili celoživotnú pevnosť. Zakúpilo sa sekundové lepidlo, ktoré pokiaľ bude držať, je najlacnejším riešením (viď obr. 3.6 a obr. 3.7).



Obr. 3.6 Montáž zveráku (pohľad zo zadnej strany).

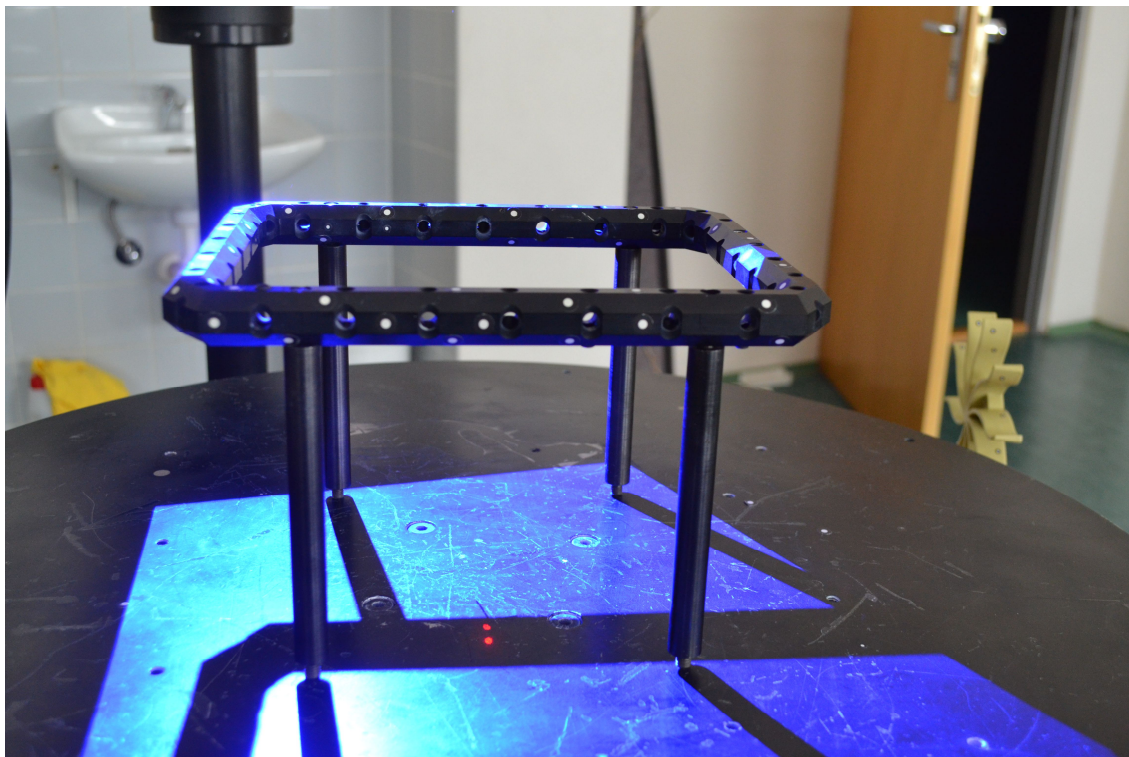


Obr. 3.7 Montáž zveráku (pohľad z prednej strany).

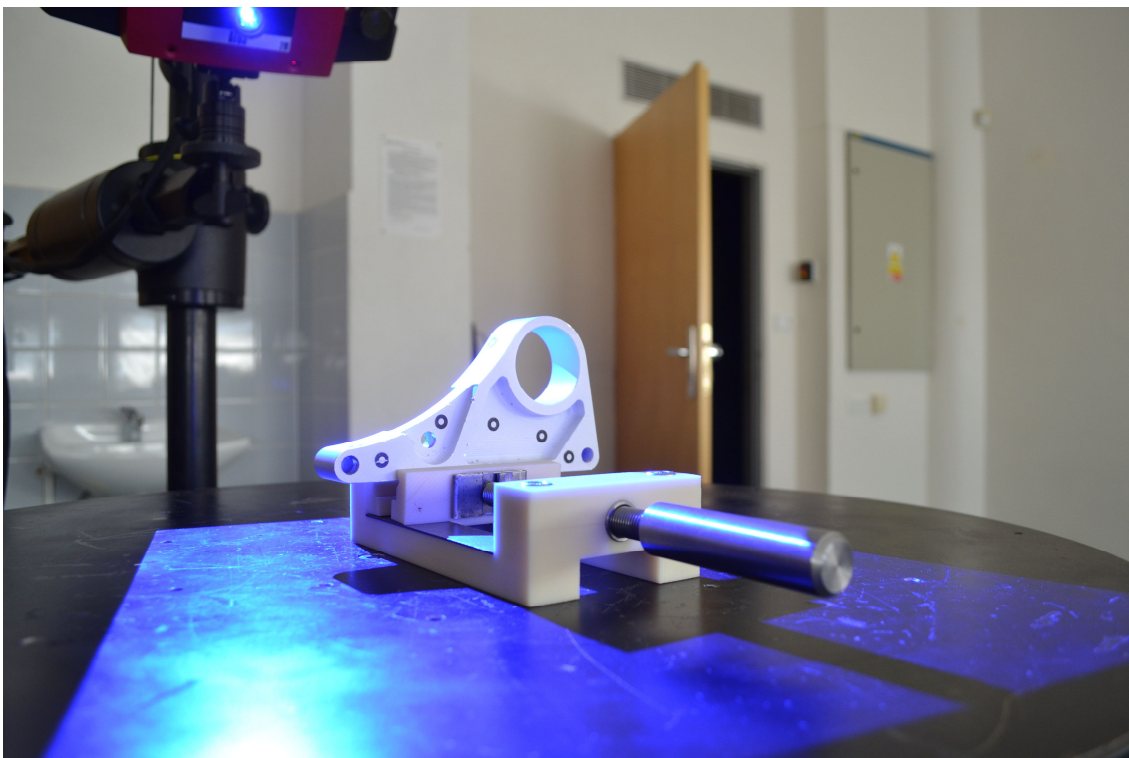
4 DISKUSIA

Pri vytváraní 3D modelu nenastali žiadne problémy, naopak boli navrhnuté tak, aby bola možnosť vyberať z viacerých návrhov. Na zhotovenie modelu vystačili základné znalosti v modelovacom programe Inventor. Pri prenose do 3D tlačiarne, bolo potrebné premyslieť rozloženie materiálu na podložke, aby došlo k maximálnej úspore materiálu. Táto operácia sa uskutočňuje v špeciálnom programe pred začiatkom tlače. K úspore materiálu už došlo aj pri konštrukcii a modelovaní.

Po skontrolovaní funkčnosti všetkých častí zveráku, bolo uskutočnené skenovanie v dvoch variantoch. Prvý variant spočíval v skenovaní s upnutím skenovanej súčasti v už známej stavebnici Equator (viď obr. 4.1). Druhý variant predvádzal skenovanie za pomoci skonštruovaného zveráku (viď obr. 4.2). Údaje zo skenovania boli prevedené do počítačového programu, kde bol následne aj vykreslený 3D model (viď obr. 4.3).

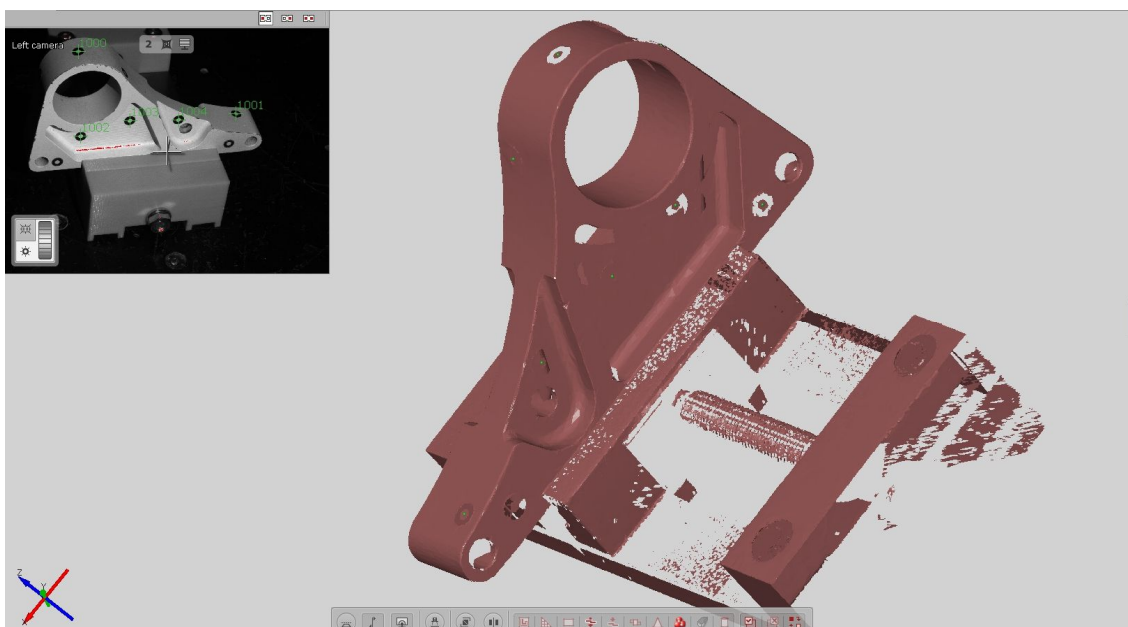


Obr. 4.1 Skenovanie so stavebnicou Equator.



Obr. 4.2 Skenovanie so zverákom.

V budúcnosti by bolo perspektívne, navrhnuť a vyrobiť viac rôznorodých čelustí, ktoré by slúžili pre uchytanie celej škály veľkostí a tvarov skenovaných súčiastok. Ako ďalší návrh, mechanizmus, ktorým by bol zverák pripevnený ku skenovaciemu stolu, poprípade k iným podložkám.



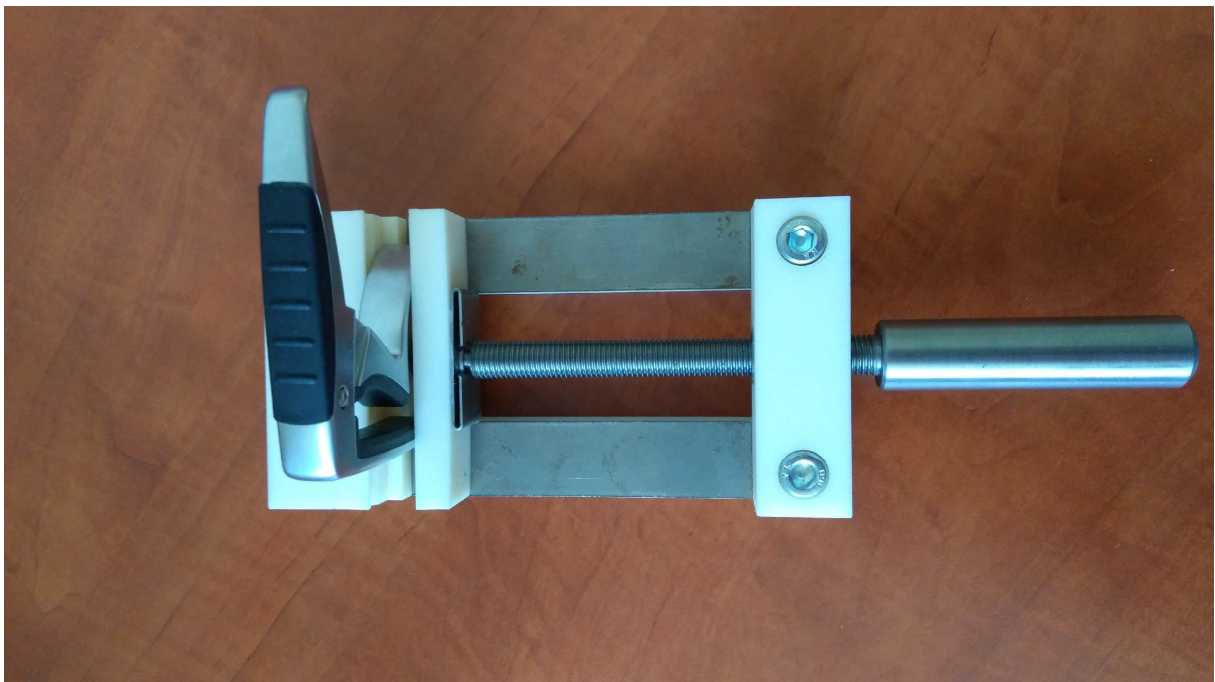
Obr. 4.3 Výstup 3D modelu z programu po skenovaní.

ZÁVER

Podstata celej bakalárskej práce spočívala v navrhnutí univerzálneho skenovacieho prípravku, v neskoršom prograse selektovaného na pevný zverák, navrhnutý špeciálne pre potreby skenovania. Jednou z najťažších častí prípravy, návrhu a výroby zveráku, bolo nájdanie ideálneho kompromisu medzi oceľovými súčiastkami a plastovými dielmi.

Fakt, že zverák bol vyrobený za pomoci 3D softvéru a 3D tlače, odlučuje výrobu a proces navrhovania od klasického oceľového zveráku. Na záver sa zhodnotili výhody a nevýhody 3D tlače. Veľkou výhodou 3D tlače je fakt, že dokáže zhotoviť súčiastku ľubovoľného tvaru, a v tomto prípade prototypu bol aj výrobný čas rýchlejší ako pri oceľových zverákoch. V prípade sériovej výroby by to ale trvalo dlhšie ako pri výrobe oceľového zveráku. Taktiež pevnosť sa v porovnaní materiálov pri slabých silových pôsobeniach, ktoré na zverák pôsobia, líši iba mierne. Cenovo vyšli súčiastky tlačené z plastu na 2 000 Kč, materiál závitovej tyče 39 Kč a skrutky s maticami a podložkami stáli 10 Kč, čo vo výsledku ukáže celkovú sumu 2 049 Kč. Pri nákupe kompletne oceľového zveráku sa cena pohybuje okolo 6 000 Kč. Percentuálne vychádza prototypový zverák zhruba o 66 % lacnejšie [18].

Cieľ bakalárskej práce bol splnený podľa očakávania, všetky časti zveráku fungujú správne, je pripravený na používanie (viď obr. 4.4).



Obr. 4.4 Funkčný zverák

ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] CHVÁLA, B., VOTAVA, J., *Přípravky*. Praha: SNTL/ALFA, 1988.
- [2] *Studium, škola, wiki: 3.19 PŘÍPRAVKY* [online]. [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://strojirenstvi-stredni-skola.blogspot.cz/2011/03/319-pripravky.html>
- [3] *Přípravky* [online]. [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://referaty.aktuality.sk/pripravky/referat-5832>
- [4] ĽUBIŠČÁK, J., PILC, J., *PRÍPRAVKY*. Košice: Rektorát Vysokej školy technickej v Košiciach, 1988.
- [5] *Upínání obrobků při vrtání* [online]. [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: http://mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-t-06.4_vrtani_upinaniobrobku.pdf
- [6] TumliKOVO. *Trny pro frézování ozubených kol* [online]. [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/rubriky/jak-upnout-obrobek/pripravky-pro-frezovani/>
- [7] TumliKOVO. *Rozpínací trny* [online]. [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/rubriky/jak-upnout-obrobek/pripravky-pro-soustruzeni/rozpinaci-trny/>
- [8] RENISHAW. *Upínací přípravky pro Equator* [online]. [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.renishaw.cz/cs/upinaci-pripravky-pro-equator—20858>
- [9] RENISHAW. *EQUATOR* [online]. [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.renishaw.cz/media/img/gen/9de6df72a0b54bce8683430fb90bfcd1.jpg>
- [10] Učíme v prostoru. *Upínací přípravky* [online]. [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: http://uvp3d.cz/drtic/?page_id=2991
- [11] Učíme v prostoru. *Pevný zverák* [online]. [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: http://uvp3d.cz/drtic/wp-content/uploads/2014/07/UvP_STROJ_ST52_001_001.jpg.jpg

-
- [12] GEBHARTD, A. *Understanding Additive Manufacturing - Rapid Prototyping, Rapid Tooling, Rapid Manufacturing*. Hanser Publishers 2011. [Online]
Dostupné z: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpUAMRPRT5/understanding-additive/understanding-additive>
- [13] C.K.CHUA, K.F.LEOON, C.S.LIM, *Rapid prototyping; Principles and Applications*, 3.vydanie, K.F.LEOON, C.S.LIM, 5 Toh Tuck Link, Singapore 596224: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2010. ISBN-10 981-277-897-7.
- [14] BENIAK, J., *Systémy Rapid Prototyping*, edícia vysokoškolských učebníc, Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2014. ISBN 978-80-227-4287-0.
- [15] *Fused deposition modeling* [online]. [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Fused_deposition_modeling
- [16] Grimm, T., *User's Guide to Rapid Prototyping*. Society of Manufacturing Engineers (SME). 2004. [online]. Dostupné z: <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpUGRP0002/users-guide-rapid-prototyping/users-guide-rapid-prototyping>
- [17] Zureks. *FDM* [online]. [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/42/FDM_by_Zureks.png
- [18] MT nástroje. *Svěrák strojní pevný 100*. [online]. [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <https://www.i-frezy.cz/i-frezy/eshop/18-1-Sveraky/0/5/2070-Sverak-strojni-pevny-100>

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

Zkratka	Popis
RP	Rapid Prototyping
CAD	Computer Aided Design - počítačom podporované navrhovanie
CAM	Computer Aided Manufacturing - počítačom podporovaná výroba
FDM	Fused Deposition Modeling - metóda 3D tlače